

DIALOG(R)File 351:Derwent WPI
(c) 2002 Derwent Info Ltd. All rts. reserv.

011689314 **Image available**

WPI Acc No: 1998-106224/ 199810

XRPX Acc No: N98-085205

Aberration correction method for optical system e.g. projection exposure system used in semiconductor device manufacture - involves satisfying unique condition by assigning synthesis powers of partial lens group of optical system and aberration correction optical system to two variables

Patent Assignee: NIKON CORP (NIKR)

Number of Countries: 001 Number of Patents: 001

Patent Family:

Patent No	Kind	Date	Applicat No	Kind	Date	Week
JP 9329742	A	19971222	JP 96170609	A	19960610	199810 B

Priority Applications (No Type Date): JP 96170609 A 19960610

Patent Details:

Patent No	Kind	Lan Pg	Main IPC	Filing Notes
JP 9329742	A	14	G02B-013/22	

Abstract (Basic): JP 9329742 A

The method involves varying the surface power of an optical system arranged in telecentric optical path, by the side of an object or image. The synthesis power of the partial lens group of the optical system between the apertures and the aberration correction optical system in the main optical system, is set to (PHI)1. The synthesis power of aberration correction optical system is set to (PHI)2 and a conditional expression $\text{mod}((\text{PHI})1/(\text{PHI})2) > 80$ is satisfied.

ADVANTAGE - Enables quick and correct tuning of symmetry of revolution aberration of projection optical system. Improves transfer accuracy.

Dwg.1/3

Title Terms: ABERRATION; CORRECT; METHOD; OPTICAL; SYSTEM; PROJECT; EXPOSE; SYSTEM; SEMICONDUCTOR; DEVICE; MANUFACTURE; SATISFY; UNIQUE; CONDITION; ASSIGN; SYNTHESIS; POWER; LENS; GROUP; OPTICAL; SYSTEM; ABERRATION; CORRECT; OPTICAL; SYSTEM; TWO; VARIABLE

Index Terms/Additional Words: VLSI

Derwent Class: P81; P84; U11

International Patent Class (Main): G02B-013/22

International Patent Class (Additional): G03F-007/20; H01L-021/027

File Segment: EPI; EngPI

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-329742

(43) 公開日 平成9年(1997)12月22日

(51) Int.Cl. ⁸	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 2 B 13/22			G 0 2 B 13/22	
G 0 3 F 7/20	5 2 1		G 0 3 F 7/20	5 2 1
H 0 1 L 21/027			H 0 1 L 21/30	5 1 5 D

審査請求 未請求 請求項の数11 F D (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願平8-170609

(22) 出願日 平成8年(1996)6月10日

(71) 出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72) 発明者 重松 幸二

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株

式会社ニコン内

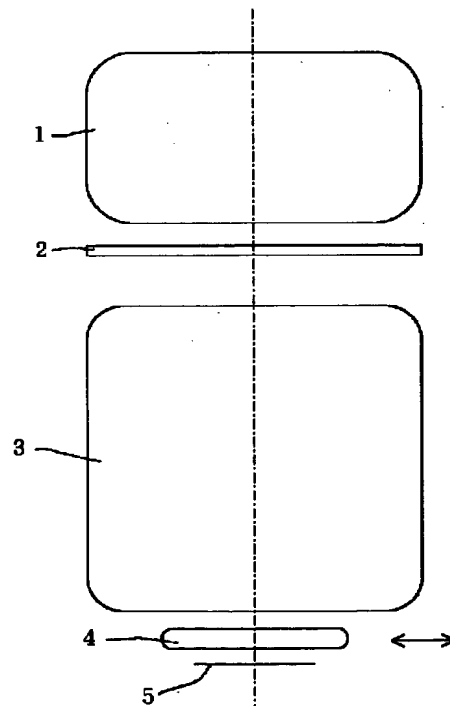
(74) 代理人 弁理士 山口 孝雄

(54) 【発明の名称】 光学系の収差補正方法および収差補正光学系を備えた投影露光装置

(57) 【要約】

【課題】 光学系の回転対称収差を迅速且つ正確に微調整することのできる収差補正方法。

【解決手段】 物体側および像側のうち少なくとも一方にテレセントリックな光学系の収差を補正する収差補正方法において、光学系の物体側または像側のテレセントリック光路中に配置された収差補正光学系の少なくとも一方の面の面パワーを変化させて光学系の収差を補正する。ただし、光学系内に配置された絞りと収差補正光学系との間の光学系の部分レンズ群の合成のパワーΦ1と収差補正光学系の合成のパワーΦ2とは所定の条件式を満足する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 物体側および像側のうち少なくとも一方にテレセントリックな光学系の収差を補正する収差補正方法において、

前記光学系の物体側または像側のテレセントリック光路中に配置された収差補正光学系の少なくとも一方の面の面パワーを変化させて前記光学系の収差を補正し、
前記光学系内に配置された絞りと前記収差補正光学系との間の前記光学系の部分レンズ群の合成のパワーを $\Phi 1$ とし、前記収差補正光学系の合成のパワーを $\Phi 2$ としたとき、

$$|\Phi 1 / \Phi 2| > 80$$

の条件を満たすことを特徴とする光学系の収差補正方法。

【請求項2】 前記収差補正光学系を交換することによって前記光学系の収差を補正することを特徴とする請求項1に記載の光学系の収差補正方法。

【請求項3】 前記収差補正光学系の合成のパワーを変化させることによって前記光学系の像面湾曲を補正することを特徴とする請求項1または2に記載の光学系の収差補正方法。

【請求項4】 前記収差補正光学系と前記光学系とからなる合成光学系の物体面から像面までの距離を L とし、前記収差補正光学系の合成のパワー変化量を $\Delta \Phi 2$ としたとき、

$$|L \times \Delta \Phi 2| < 0.4$$

の条件を満たすことを特徴とする請求項3に記載の光学系の収差補正方法。

【請求項5】 前記収差補正光学系の合成のパワーを変化させることなく、前記収差補正光学系の物体側の面の面パワーおよび像側の面の面パワーをそれぞれ変化させることによって、前記光学系のコマ収差を補正することを特徴とする請求項1または2に記載の光学系の収差補正方法。

【請求項6】 前記収差補正光学系と前記光学系とからなる合成光学系の全長を L とし、前記収差補正光学系の物体側の面の面パワー変化量を $\Delta \Phi 3$ とし、前記収差補正光学系の像側の面の面パワー変化量を $\Delta \Phi 4$ としたとき、

$$|L \times \Delta \Phi 3| < 4$$

$$|L \times \Delta \Phi 4| < 4$$

の条件を満たすことを特徴とする請求項5に記載の光学系の収差補正方法。

【請求項7】 前記収差補正光学系の合成のパワーを変化させるとともに、前記収差補正光学系の物体側の面の面パワーおよび像側の面の面パワーをそれぞれ変化させることによって、前記光学系の像面湾曲およびコマ収差を補正することを特徴とする請求項1または2に記載の光学系の収差補正方法。

【請求項8】 前記収差補正光学系と前記光学系とから

なる合成光学系の物体面から像面までの距離を L とし、前記収差補正光学系の物体側の面の面パワー変化量を $\Delta \Phi 3$ とし、前記収差補正光学系の像側の面の面パワー変化量を $\Delta \Phi 4$ としたとき、

$$|L \times \Delta \Phi 3| < 4$$

$$|L \times \Delta \Phi 4| < 4$$

の条件を満たすことを特徴とする請求項7に記載の光学系の収差補正方法。

【請求項9】 前記収差補正光学系の軸上厚さを変化させることによって、前記光学系の球面収差をさらに補正することを特徴とする請求項3乃至8のいずれか1項に記載の光学系の収差補正方法。

【請求項10】 前記収差補正光学系と前記光学系とからなる合成光学系のバックフォーカスを BF とし、前記収差補正光学系の軸上厚さの変化量を Δd としたとき、

$$|BF / \Delta d| > 30$$

の条件を満たすことを特徴とする請求項9に記載の光学系の収差補正方法。

【請求項11】 所定のパターンが形成されたマスクを照明するための照明光学系と、前記マスクのパターン像を感光性の基板に形成するための投影光学系とを備えた投影露光装置において、

前記投影光学系は、絞りと、前記マスクと前記絞りとの間に配置された前群と、前記絞りと前記基板との間に配置された後群とを有するように構成されるとともに、マスク側および基板側のうち少なくとも一方がテレセントリックに構成されており、

前記投影光学系のマスク側または基板側のテレセントリック光路中には収差補正光学系が設けられ、

前記投影光学系内の前記絞りと前記収差補正光学系との間の前記投影光学系の部分レンズ群の合成のパワーを $\Phi 1$ とし、前記収差補正光学系の合成のパワーを $\Phi 2$ としたとき、

$$|\Phi 1 / \Phi 2| > 80$$

の条件を満たし、

前記収差補正光学系のマスク側の面および基板側の面のうちの少なくとも一方の面の面パワーを変化させて前記投影光学系の収差を補正することを特徴とする投影露光装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は光学系の収差補正方法および収差補正光学系を備えた投影露光装置に関し、特に半導体製造用の投影露光装置における投影光学系の回転対称収差の補正に関するものである。

【0002】

【従来の技術】超LSI等の半導体素子は年々その微細度を増し、それに伴って光リソグラフィー工程に用いられる投影露光装置にも高精度化が求められている。そのため、半導体製造用の投影露光装置に搭載される投影光

3

光学系の製造においては、製造誤差による収差を所望量に抑えるため、一度組み立てた後に投影光学系の各要素の微調整を行なっている。

【0003】このとき、投影光学系の回転対称収差の微調整は、例えば光学系内のレンズ素子の間隔の微小変更や、パワー（屈折力）が微小量だけ異なるレンズ素子との交換により行なわれている。ただし、投影光学系の球面収差の微調整は、平行平板の厚さを変更することによって行うことができることが知られている。この場合、投影光学系が入射側にテレセントリックであれば物体面と投影光学系との間の光路中に、射出側にテレセントリックであれば投影光学系と像面との間の光路中に平行平板を挿入する。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】上述のように、球面収差以外の回転対称収差を微調整する従来の収差補正方法では、主としてレンズ間隔を微小変更する。この場合、レンズ間隔を調整するために厚さの異なるワッシャの交換を行なうので、互いに厚さの異なる多くの種類の調整用ワッシャが必要であった。

【0005】特に、像面湾曲の微調整では、パワーが微小量だけ異なるレンズ素子との交換が必要であると考えられる。しかしながら、この場合、レンズ素子を交換すると、微調整すべき像面湾曲が変動するが、すでに良好に補正されている他の収差（補正対象外の収差）も変動してしまう。その結果、レンズ間隔の微小変更を再度行なう必要が生じ、微調整作業を効率的に行うことができない。また、投影露光装置に投影光学系を搭載した後に、装置の設置環境に対して最適化させるために投影光学系の収差を微調整する必要が生じる。この場合、従来の収差補正方法では、長時間に亘って多くの部品を調整する作業を要するという不都合があった。

【0006】本発明は、前述の課題に鑑みてなされたものであり、光学系の回転対称収差を迅速且つ正確に微調整することのできる収差補正方法および収差補正光学系を備えた投影露光装置を提供することを目的とする。

【0007】

【課題を解決するための手段】前記課題を解決するために、本発明においては、物体側および像側のうち少なくとも一方にテレセントリックな光学系の収差を補正する収差補正方法において、前記光学系の物体側または像側のテレセントリック光路中に配置された収差補正光学系の少なくとも一方の面の面パワーを変化させて前記光学系の収差を補正し、前記光学系内に配置された絞りと前記収差補正光学系との間の前記光学系の部分レンズ群の合成のパワーを $\Phi 1$ とし、前記収差補正光学系の合成のパワーを $\Phi 2$ としたとき、

$$|\Phi 1 / \Phi 2| > 80$$

の条件を満たすことを特徴とする光学系の収差補正方法を提供する。

4

【0008】本発明の好ましい態様によれば、前記収差補正光学系を交換することによって前記光学系の収差を補正する。本発明では、たとえば前記収差補正光学系の合成のパワーを変化させることによって前記光学系の像面湾曲を補正することができる。この場合、前記収差補正光学系と前記光学系とからなる合成光学系の物体面から像面までの距離を l とし、前記収差補正光学系の合成のパワー変化量を $\Delta \Phi 2$ としたとき、

$$|l \times \Delta \Phi 2| < 0.4$$

10 の条件を満たすことが好ましい。

【0009】本発明の別の局面によれば、所定のパターンが形成されたマスクを照明するための照明光学系と、前記マスクのパターン像を感光性の基板に形成するための投影光学系とを備えた投影露光装置において、前記投影光学系は、絞りと、前記マスクと前記絞りとに間に配置された前群と、前記絞りと前記基板との間に配置された後群とを有するように構成されるときに、マスク側および基板側のうち少なくとも一方がテレセントリックに構成されており、前記投影光学系のマスク側または基板側のテレセントリック光路中には収差補正光学系が設けられ、前記投影光学系内の前記絞りと前記収差補正光学系との間の前記投影光学系の部分レンズ群の合成のパワーを $\Phi 1$ とし、前記収差補正光学系の合成のパワーを $\Phi 2$ としたとき、

$$|\Phi 1 / \Phi 2| > 80$$

の条件を満たし、前記収差補正光学系のマスク側の面および基板側の面のうちの少なくとも一方の面の面パワーを変化させて前記投影光学系の収差を補正することを特徴とする投影露光装置を提供する。

30 【0010】

【発明の実施の形態】上述したように、本発明では、光学系の物体側または像側のテレセントリック光路中に配置された収差補正光学系の少なくとも一方の面の面パワーを変化させることによって、光学系の回転対称収差を補正する。すなわち、光学系が物体側にテレセントリックである場合、光学系の物体側の面と物体との間の光路中に収差補正光学系を配置する。また、光学系が像側にテレセントリックである場合、光学系の像側の面と像面との間の光路中に収差補正光学系を配置する。さらに、光学系が物体側および像側にテレセントリックである場合、光学系の像側の面と像面との間の光路および光学系の物体側の面と物体との間の光路のうち少なくとも一方の光路中に収差補正光学系を配置する。

【0011】なお、本発明においては、たとえば元の収差補正光学系を少なくとも一方の面の面パワーの異なる別の収差補正光学系と置換してもよい。また、収差補正光学系を交換することなく、収差補正光学系の少なくとも一方の面の面パワーを変化させてもよい。こうして、本発明では、従来技術におけるように多くの種類の調整用ワッシャを用意する必要もなく、光学系の回転対称収

50

差を迅速且つ正確に微調整することができる。

【0012】本発明においては、以下の条件式(1)を満足する。

$$|\Phi 1 / \Phi 2| > 80 \quad (1)$$

ここで、

$\Phi 1$: 光学系内に配置された絞りと収差補正光学系との間の光学系の部分レンズ群の合成のパワー

$\Phi 2$: 収差補正光学系の合成のパワー

条件式(1)の上限値および下限値で規定される範囲を満足することにより、光学系のテレセントリック性に影響を及ぼすことなく、補正対象外の収差(すでに良好に補正された収差)の変動を抑えつつ、微調整すべき1つまたは複数の回転対称収差を良好に補正することができる。

【0013】本発明では、収差補正光学系の合成のパワーを変化させることによって、光学系の像面湾曲を補正することができる。この場合、次の条件式(2)を満足することが望ましい。

$$|L \times \Delta \Phi 2| < 0.4 \quad (2)$$

ここで、

L : 収差補正光学系と光学系とからなる合成光学系の物体面から像面までの距離

$\Delta \Phi 2$: 収差補正光学系の合成のパワー変化量

条件式(2)の上限値および下限値で規定される範囲を満足することにより、他の収差の変動を抑えつつ像面湾曲だけを良好に補正することができる。逆に、条件式(2)を満足しない場合には、光学系のテレセントリック性に影響を及ぼしてしまう。

【0014】また、本発明では、収差補正光学系の合成のパワーを変化させることなく、収差補正光学系の物体側の面の面パワーおよび像側の面の面パワーをそれぞれ変化させることによって、光学系のコマ収差を補正することができる。この場合、次の条件式(3)および(4)を満足することが望ましい。

$$|L \times \Delta \Phi 3| < 4 \quad (3)$$

$$|L \times \Delta \Phi 4| < 4 \quad (4)$$

ここで、

$\Delta \Phi 3$: 収差補正光学系の物体側の面の面パワー変化量

$\Delta \Phi 4$: 収差補正光学系の像側の面の面パワー変化量

【0015】なお、レンズ面の面パワーMPは、次の式(a)によって表される。

$$MP = (n2 - n1) / r \quad (a)$$

ここで、

r : レンズ面の曲率半径

$n2$: 屈折後の媒質屈折率

$n1$: 屈折前の媒質屈折率

条件式(3)および(4)を満足することにより、他の収差の変動を抑えつつコマ収差だけを良好に補正することができる。逆に、条件式(3)および(4)を満足しない場合には、補正対象外の収差の発生が大きくなり、

光学系のテレセントリック性にも影響を及ぼしてしまう。

【0016】また、本発明では、収差補正光学系の合成のパワーを変化させるとともに、収差補正光学系の物体側の面の面パワーおよび像側の面の面パワーをそれぞれ変化させることによって、光学系の像面湾曲およびコマ収差を補正することができる。この場合、光学系のテレセントリック性に影響を及ぼすことなく、光学系の像面湾曲およびコマ収差だけを良好に微調整するために、上述の条件式(2)～(4)を満足することが望ましい。

【0017】また、本発明では、収差補正光学系の合成のパワーを変化させたり、収差補正光学系の物体側の面の面パワーおよび像側の面の面パワーをそれぞれ変化させるとともに、収差補正光学系の軸上厚さを変化させることによって、光学系の球面収差と像面湾曲およびコマ収差の少なくとも一方とを補正することができる。この場合、次の条件式(5)を満足することが望ましい。

$$|BF / \Delta d| > 30 \quad (5)$$

ここで、

20 BF : 収差補正光学系と光学系とからなる合成光学系のバックフォーカス

Δd : 収差補正光学系の軸上厚さの変化量

【0018】条件式(5)の上限値および下限値で規定される範囲を満足することにより、他の収差の変動を抑えつつ、像面湾曲と球面収差との補正、コマ収差と球面収差との補正、あるいは像面湾曲とコマ収差と球面収差との補正を良好に行うことができる。逆に、条件式(5)を満足しない場合には、補正対象外の収差の発生が大きくなり、光学系のテレセントリック性にも影響を

30 及ぼしてしまう。

【0019】

【実施例】以下、本発明の実施例を、添付図面に基づいて説明する。図1は、本発明の各実施例にかかる収差補正光学系を備えた投影露光装置の要部構成を示す図である。また、図2は、各実施例における投影光学系および収差補正光学系のレンズ構成を示す図である。このように、各実施例では、像側にテレセントリックな投影光学系に対して本発明の収差補正方法を適用した例を示している。したがって、各実施例において、収差補正光学系4は、投影光学系3の最も像側のレンズ面と像面との間のテレセントリック光路中に配置されている。

【0020】図1の投影露光装置は、所定のパターンが形成されたマスク2を露光光で照明するための照明光学系1を備えている。マスク2のパターンを透過した光は、投影光学系3および収差補正光学系4を介して、感光性の基板であるウエハ5上にパターン像を形成する。ここで、照明光学系1は、248.4nmの露光波長の光を供給するエキシマレーザとしてのKrFレーザを備えている。マスク2は、不図示のマスクステージに保持されており、また感光基板としてのウエハ5は、不図示

のウエハステージに保持されている。なお、露光用光源としては、KrFレーザのみならず、193nmの露光波長の光を供給するエキシマレーザとしてのArFレーザ、g線(436nm)又はi線(365nm)の露光波長の光を供給する水銀ランプを用いても良い。

【0021】図2において、絞りSは、投影光学系3の収差補正光学系側の瞳を構成している。すなわち、投影光学系3は、絞りSと、マスク2と絞りSとの間に配置された前群GFと、絞りGとウエハ5との間に配置された後群GRとから構成されている。ここで、前群GFは、物体側(マスク2側)から順に、正の屈折力を持つ第1レンズ群G1と、負の屈折力を持つ第2レンズ群G2と、正の屈折力を持つ第3レンズ群G3と、負の屈折力を持つ第4レンズ群G4とを有し、後群GRは、物体側(マスク2側)から順に、正の屈折力を持つ第5レンズ群G5と、同じく正の屈折力を持つ第6レンズ群G6とを有している。

【0022】第1レンズ群G1は、物体側(マスク2側)から順に、2枚の正レンズ(L11, L12)と、像側(基板5側)に凸面を向けた負メニスカスレンズL13と、正レンズL14とから構成され、第2レンズ群G2は、最も物体側(マスク2側)に配置されて像側(基板5側)に凹面を向けた負の屈折力を持つ前方レンズL2Fと、最も像側(基板5側)に配置されて物体側(マスク2側)に凹面を向けた負の屈折力を持つ後方レンズL2Rと、第2レンズ群中の前方レンズL2Fと第2レンズ群中の後方レンズL2Rとの間に配置される中間レンズ群L2Mとを有するように構成されている。そして、その中間レンズ群L2Mは、物体側(マスク2側)から順に、正のレンズL21と、3枚の負レンズ(L22, L23, L24)と、*30

*正レンズL25とから構成されている。

【0023】また、第3レンズ群G3は、4枚の正レンズ(L31, L32, L33, L34)で構成され、第4レンズ群G4は、物体側(マスク2側)から順に、像側(基板5側)に凹面を向けた負レンズL41と、2枚の負レンズ(L42, L43)とで構成されている。また、第5レンズ群G5は、物体側(マスク2側)から順に、物体側(マスク2側)に凹面を向けた負レンズL51、3枚の正レンズ(L52, L53, L54)、負レンズL55、3枚の正レンズ(L56, L57, L58)および像側(基板5側)に凹面を向けた負レンズL59で構成されており、第6レンズ群G6は、物体側(マスク2側)から順に、物体側(マスク2側)に凸面を向けた正レンズL61と、厚肉の負レンズL62とで構成されている。なお、第6レンズ群G6は、1枚のレンズで構成することもできる。

【0024】次の表(1)に、比較例における投影光学系3と収差補正光学系4とからなる合成光学系の諸元の値を掲げる。表(1)において、d0はマスク2と最もマスク側のレンズ面との軸上距離を、 β は結像倍率を、NAはウエハ側の開口数を、Lは合成光学系の物体面から像面までの距離(すなわちマスク2とウエハ5との軸上距離)をそれぞれ示している。また、左端の数字はマスク側からの各レンズ面の順序を、1/rは各レンズ面の曲率を、dは各レンズ面間隔を、nはKrFレーザ光($\lambda=248.4\text{nm}$)に対する屈折率を示している。なお、各レンズとも石英(SiO_2)で形成されている。

【0025】

【表1】

$$d0=104.850$$

$$\beta=1/5$$

$$NA=0.57$$

$$L=1200$$

	曲率(1/r)	d	n
1	1.02270×10^{-3}	23.000	1.50839
2	-1.48643×10^{-3}	18.112	
3	1.26933×10^{-3}	24.000	1.50839
4	-3.10683×10^{-3}	6.550	
5	-3.83799×10^{-3}	20.000	1.50839
6	-1.66547×10^{-3}	1.000	
7	2.92685×10^{-3}	27.000	1.50839
8	-1.65798×10^{-3}	1.458	
9	4.52305×10^{-3}	24.000	1.50839
10	8.86100×10^{-3}	25.000	
11	4.26389×10^{-3}	23.000	1.50839
12	-2.40357×10^{-3}	1.000	
13	-3.22588×10^{-4}	17.000	1.50839
14	8.31529×10^{-3}	19.107	
15	-1.72920×10^{-3}	12.900	1.50839

9

16	6.93930×10^{-3}	28.519	
17	-9.18920×10^{-3}	15.000	1.50839
18	1.56485×10^{-3}	52.304	
19	6.06956×10^{-4}	35.000	1.50839
20	-5.92997×10^{-3}	14.652	
21	-8.27367×10^{-3}	22.800	1.50839
22	-5.31606×10^{-3}	2.654	
23	-3.21943×10^{-4}	27.000	1.50839
24	-3.36922×10^{-3}	4.072	
25	1.42664×10^{-3}	28.000	1.50839
26	-1.48796×10^{-3}	1.307	
27	2.78126×10^{-3}	27.000	1.50839
28	-3.28246×10^{-4}	1.000	
29	4.47287×10^{-3}	31.000	1.50839
30	-6.49929×10^{-4}	8.386	
31	-2.78019×10^{-4}	21.000	1.50839
32	7.03659×10^{-3}	8.487	
33	5.11892×10^{-3}	17.000	1.50839
34	6.32574×10^{-3}	34.681	
35	-4.77206×10^{-3}	15.900	1.50839
36	3.28295×10^{-3}	42.000	
37	0.0000	14.471	(絞りS)
39	-5.71193×10^{-3}	18.000	1.50839
40	-8.59404×10^{-4}	6.327	
41	-1.98742×10^{-3}	23.000	1.50839
42	-4.68062×10^{-3}	1.092	
43	3.12303×10^{-4}	23.000	1.50839
44	-2.94899×10^{-3}	3.383	
45	2.15591×10^{-3}	40.000	1.50839
46	-3.07410×10^{-3}	11.393	
47	-4.28570×10^{-3}	27.000	1.50839
48	-2.69640×10^{-3}	1.000	
49	2.56771×10^{-3}	28.000	1.50839
50	-5.16650×10^{-4}	4.144	
51	5.47938×10^{-3}	29.000	1.50839
52	1.88943×10^{-3}	3.108	
53	7.18271×10^{-3}	39.900	1.50839
54	3.17639×10^{-3}	9.801	
55	2.00685×10^{-3}	23.000	1.50839
56	1.23099×10^{-2}	6.676	
57	1.06409×10^{-2}	33.995	1.50839
58	9.83246×10^{-4}	2.000	
59	1.25289×10^{-3}	35.001	1.50839
60	7.95720×10^{-4}	19.070	
61	0.00000	6.000	1.50839
62	0.00000	BF=5.900	

(条件対応値)

 $\Phi 1 = 0.00808$ $\Phi 2 = 0$ (1) $|\Phi 1 / \Phi 2| = \infty$

11

【0026】図3は、比較例における投影光学系3と収差補正光学系4とからなる合成光学系のKrFレーザー光($\lambda=248.4\text{nm}$)に対する諸収差図である。各収差図において、NAは開口数を、Yは像高をそれぞれ示している。なお、非点収差を示す収差図において実線はサジタル像面を示し、破線はメリディオナル像面を示している。各収差図から明らかなように、比較例では、平行平板からなる収差補正光学系4の作用により、球面収差が良好に補正されていることがわかる。また、表(1)に示すように、比較例において、後群GRの合成のパワー $\Phi 1$ は0.00808である。また、収差補正光学系4を構成している平行平板(61面、62面)の合成のパワー $\Phi 2$ は、0である。したがって、比較例において、条件式(1)の値である $|\Phi 1/\Phi 2|$ は無量大(∞)となっている。なお、表(1)において、投影光学系は、1面から60面までである。

【0027】〔第1実施例〕第1実施例では、投影光学*

$$d0=104.850$$

$$\beta=1/5$$

$$NA=0.57$$

$$L=1200$$

曲率($1/r$)

$$61 \quad 9.83500 \times 10^{-5}$$

$$62 \quad 0.00000$$

(条件対応値)

$$\Phi 1=0.00808$$

$$\Phi 2=5.0 \times 10^{-5}$$

$$\Delta \Phi 2=5.0 \times 10^{-5}$$

$$(1) \quad |\Phi 1/\Phi 2|=162$$

$$(2) \quad |L \times \Delta \Phi 2|=0.06$$

【0029】表(2)に示すように、第1実施例では、後群GRの合成のパワー $\Phi 1$ は、比較例と同様に0.00808である。また、収差補正光学系4を構成している平行平板の合成のパワー $\Phi 2$ は、 5.0×10^{-5} である。したがって、収差補正光学系の合成のパワー変化量 $\Delta \Phi 2$ は、 5.0×10^{-5} である。このとき、最大像高=15.6における像面湾曲の補正量 ΔCU は-0.004である。次の表(3)に、第1実施例における収差補正光学系4の合成のパワー $\Phi 2$ を変化させたときの、条件式(1)の値である $|\Phi 1/\Phi 2|$ の変化、条件式(2)の値である※40

$\Phi 2$	$ \Phi 1/\Phi 2 $	$ L \times \Delta \Phi 2 $	ΔCU
$+10.1 \times 10^{-5}$	80	0.121	-0.008
$+5.0 \times 10^{-5}$	162	0.06	-0.004
$+2.50 \times 10^{-5}$	324	0.03	-0.002
-2.50×10^{-5}	324	0.03	+0.002
-5.0×10^{-5}	162	0.06	+0.004
-10.1×10^{-5}	80	0.121	+0.008

【0031】〔第2実施例〕第2実施例では、投影光学系3のコマ収差を補正するために、比較例における平行平板をウエハ側に凸面を向けたノーパワーレンズで置★50

12

*系3の像面湾曲を補正するために、比較例における平行平板をウエハ側に平面を向けた平凸レンズで置換している。すなわち、第1実施例では、収差補正光学系4の合成のパワーを正側に微小量だけ変化させている。次の表(2)に、第1実施例における投影光学系3と収差補正光学系4とからなる合成光学系の諸元の値を掲げる。ただし、投影光学系3の諸元の値は比較例と同じであるため、重複する記載を省略する。表(2)において、 $d0$ はマスク2と最もマスク側のレンズ面との軸上距離を、 β は結像倍率を、NAはウエハ側の開口数を、Lは合成光学系の物体面から像面までの距離をそれぞれ示している。また、左端の数字はマスク側からの各レンズ面の順序を、 $1/r$ は各レンズ面の曲率を、 d は各レンズ面間隔を、 n はKrFレーザー光($\lambda=248.4\text{nm}$)に対する屈折率を示している。

【0028】

【表2】

※ $|L \times \Delta \Phi 2|$ の変化、および最大像高=15.6における像面湾曲の補正量 ΔCU の変化を示す。表(3)に示すように、第1実施例では、比較例における平行平板を適当な合成のパワーを有するレンズと交換することにより、投影光学系3のテレセントリック性に影響を及ぼすことなく、像面湾曲だけを良好に補正することができる。

【0030】

【表3】

★換している。すなわち、第2実施例では、収差補正光学系4の合成のパワーを変化させることなく、収差補正光学系4のマスク側の面の面パワーおよびウエハ側の面の

1 3

面パワーをそれぞれ変化させている。

【0032】次の表(4)に、第2実施例における投影光学系3と収差補正光学系4とからなる合成光学系の諸元の値を掲げる。ただし、投影光学系3の諸元の値は比較例と同じであるため、重複する記載を省略する。表

(4)において、 d_0 はマスク2と最もマスク側のレンズ面との軸上距離を、 β は結像倍率を、NAはウエハ側*

$$d_0 = 104.850$$

$$\beta = 1/5$$

$$NA = 0.57$$

$$L = 1200$$

	曲率 ($1/r$)	d	n
61	-4.10745×10^{-5}	6.000	1.50839
62	-4.10745×10^{-5}	BF=5.901	

(条件対応値)

$$\Phi 1 = 0.00808$$

$$\Phi 2 = 0$$

$$\Delta \Phi 3 = -2.088 \times 10^{-5}$$

$$\Delta \Phi 4 = 2.088 \times 10^{-5}$$

$$(1) \quad |\Phi 1 / \Phi 2| = \infty$$

$$(3) \quad |L \times \Delta \Phi 3| = 0.0251$$

$$(4) \quad |L \times \Delta \Phi 4| = 0.0251$$

【0034】表(4)に示すように、第2実施例では、後群GRの合成のパワー $\Phi 1$ は、比較例と同様に0.00808である。また、収差補正光学系4を構成しているノーパワーレンズの合成のパワー $\Phi 2$ は、0である。さらに、収差補正光学系4のマスク側の面パワーは -2.088×10^{-5} であるため、その変化量 $\Delta \Phi 3$ は -2.088×10^{-5} である。一方、ウエハ側の面パワーは 2.088×10^{-5} であるため、その変化量 $\Delta \Phi 4$ は 2.088×10^{-5} である。このとき、最大像高=15.6におけるコマ収差の補正量 ΔCM は0.002である。

【0035】次の表(5)に、第2実施例における収差補正光学系4の面パワー変化量 $\Delta \Phi 3$ および $\Delta \Phi 4$ を変化させたときの、条件式(3)である $|L \times \Delta \Phi 3|$ の※

$\Delta \Phi 3$	$\Delta \Phi 4$	$ L \times \Delta \Phi 3 $	$ L \times \Delta \Phi 4 $	ΔCM
$+333.3 \times 10^{-5}$	-333.3×10^{-5}	4	4	-0.260
$+33.33 \times 10^{-5}$	-33.33×10^{-5}	0.4	0.4	-0.031
$+2.088 \times 10^{-5}$	-2.088×10^{-5}	0.0251	0.0251	-0.002
-2.088×10^{-5}	$+2.088 \times 10^{-5}$	0.0251	0.0251	+0.002
-33.33×10^{-5}	$+33.33 \times 10^{-5}$	0.4	0.4	+0.031
-333.3×10^{-5}	$+333.3 \times 10^{-5}$	4	4	+0.260

【0037】〔第3実施例〕第3実施例では、投影光学系3の像面湾曲とコマ収差とを補正するために、比較例における平行平板をウエハ側に凸面を向けた正メニスカスレンズで置換している。すなわち、第3実施例では、収差補正光学系4の合成のパワーを変化させるとともに、収差補正光学系4のマスク側の面の面パワーおよびウエハ側の面の面パワーをそれぞれ変化させている。★50

1 4

*の開口数を、Lは合成光学系の物体面から像面までの距離をそれぞれ示している。また、左端の数字はマスク側からの各レンズ面の順序を、 $1/r$ は各レンズ面の曲率を、dは各レンズ面間隔を、nはKrFレーザー光($\lambda = 248.4 \text{ nm}$)に対する屈折率を示している。

【0033】

【表4】

※値の変化、条件式(4)である $|L \times \Delta \Phi 4|$ の値の変化、および最大像高=15.6におけるコマ収差の補正量 ΔCM の変化を示す。なお、条件式(1)である $|\Phi 1 / \Phi 2|$ の値は、面パワー変化量 $\Delta \Phi 3$ および $\Delta \Phi 4$ に依存して変化することなく常に無限大である。表(5)に示すように、第2実施例では、比較例における平行平板を適当な面パワーを有するノーパワーレンズと交換することにより、投影光学系3のテレセントリック性に影響を及ぼすことなく、コマ収差だけを良好に補正することができる。

【0036】

【表5】

★【0038】次の表(6)に、第3実施例における投影光学系3と収差補正光学系4とからなる合成光学系の諸元の値を掲げる。ただし、投影光学系3の諸元の値は比較例と同じであるため、重複する記載を省略する。表(6)において、 d_0 はマスク2と最もマスク側のレンズ面との軸上距離を、 β は結像倍率を、NAはウエハ側の開口数を、Lは合成光学系の物体面から像面までの距

15

離をそれぞれ示している。また、左端の数字はマスク側からの各レンズ面の順序を、 $1/r$ は各レンズ面の曲率を、 d は各レンズ面間隔を、 n はKrFレーザー光(λ^*

$$d0=104.850$$

$$\beta = 1/5$$

$$NA=0.57$$

$$L = 1200$$

	曲率 ($1/r$)	d	n
61	-3.53418×10^{-4}	6.000	1.50839
62	-4.51000×10^{-4}	BF=5.910	

(条件対応値)

$$\Phi 1 = 0.00808$$

$$\Phi 2 = 5.0 \times 10^{-5}$$

$$\Delta \Phi 2 = 5.0 \times 10^{-5}$$

$$\Delta \Phi 3 = -17.97 \times 10^{-5}$$

$$\Delta \Phi 4 = 22.93 \times 10^{-5}$$

$$(1) |\Phi 1 / \Phi 2| = 162$$

$$(2) |L \times \Delta \Phi 2| = 0.06$$

$$(3) |L \times \Delta \Phi 3| = 0.216$$

$$(4) |L \times \Delta \Phi 4| = 0.275$$

【0040】表(6)に示すように、第3実施例では、後群GRの合成のパワー $\Phi 1$ は、比較例と同様に0.00808である。また、収差補正光学系4を構成している正メニスカスレンズの合成のパワー $\Phi 2$ は、 5.0×10^{-5} である。したがって、収差補正光学系の合成のパワー変化量 $\Delta \Phi 2$ は、 5.0×10^{-5} である。さらに、収差補正光学系4のマスク側の面パワーの変化量 $\Delta \Phi 3$ は、 -17.97×10^{-5} であり、ウエハ側の面パワーの変化量 $\Delta \Phi 4$ は、 22.93×10^{-5} である。このとき、最大像高=15.6における像面湾曲の補正量 ΔCU は-0.004であり、コマ収差の補正量 ΔCM は0.004である。こうして、第3実施例において、投影光学系3のテレセントリック性に影響を及ぼすことなく、像面湾曲とコマ収差とだけを良好に補正することができる。

【0041】〔第4実施例〕第4実施例では、投影光学系3の球面収差と像面湾曲とコマ収差とを補正するために、比較例における平行平板を、平行平板の厚さと異なる軸上厚さを有し且つウエハ側に凸面を向けた正メ※

$$d0=104.850$$

$$\beta = 1/5$$

$$NA=0.57$$

$$L = 1200$$

	曲率 ($1/r$)	d	n
61	-2.59654×10^{-4}	6.077	1.50839
62	-3.32907×10^{-4}	BF=5.856	

(条件対応値)

$$\Phi 1 = 0.00808$$

$$\Phi 2 = 3.73 \times 10^{-5}$$

$$\Delta \Phi 2 = 3.73 \times 10^{-5}$$

$$\Delta \Phi 3 = -13.20 \times 10^{-5}$$

16

$\lambda^* = 248.4 \text{ nm}$)に対する屈折率を示している。

【0039】

【表6】

※ニスカスレンズで置換している。すなわち、第3実施例では、収差補正光学系4の合成のパワーを変化させ、収差補正光学系4のマスク側の面の面パワーおよびウエハ側の面の面パワーをそれぞれ変化させるとともに、収差補正光学系4の軸上厚さを変化させている。

【0042】次の表(7)に、第4実施例における投影光学系3と収差補正光学系4とからなる合成光学系の諸元の値を掲げる。ただし、投影光学系3の諸元の値は比較例と同じであるため、重複する記載を省略する。表

(7)において、 $d0$ はマスク2と最もマスク側のレンズ面との軸上距離を、 β は結像倍率を、 NA はウエハ側の開口数を、 L は合成光学系の物体面から像面までの距離をそれぞれ示している。また、左端の数字はマスク側からの各レンズ面の順序を、 $1/r$ は各レンズ面の曲率を、 d は各レンズ面間隔を、 n はKrFレーザー光($\lambda = 248.4 \text{ nm}$)に対する屈折率を示している。

【0043】

【表7】

17

$$\Delta\Phi 4 = 16.92 \times 10^{-5}$$

$$BF = 5.856$$

$$\Delta d = 0.077$$

$$(1) |\Phi 1 / \Phi 2| = 217$$

$$(2) |L \times \Delta\Phi 2| = 0.0447$$

$$(3) |L \times \Delta\Phi 3| = 0.158$$

$$(4) |L \times \Delta\Phi 4| = 0.203$$

$$(5) |BF / \Delta d| = 76.05$$

【0044】表(7)に示すように、第4実施例では、後群GRの合成のパワーΦ1は、比較例と同様に0.00808である。また、収差補正光学系4を構成している正メニスカスレンズの合成のパワーΦ2は、 3.73×10^{-5} である。したがって、収差補正光学系の合成のパワー変化量ΔΦ2は、 3.73×10^{-5} である。さらに、収差補正光学系4のマスク側の面パワーの変化量ΔΦ3は、 -13.20×10^{-5} であり、ウエハ側の面パワーの変化量ΔΦ4は、 16.92×10^{-5} である。このとき、最大像高=15.6における像面湾曲の補正量ΔCUは-0.003であり、コマ収差の補正量ΔCMは0.003であり、球面収差の補正量ΔSAは0.01である。こうして、第4実施例では、投影光学系3のテレセントリック性に影響を及ぼすことなく、球面収差と像面湾曲とコマ収差とだけを良好に補正することができる。

【0045】以上の実施例においては、投影光学系3のテレセントリックな光路中に収差補正光学素子としての各種の補正光学系4を配置して収差を良好に補正することを示したが、以下において、補正光学系4による補正効果を十分に発揮し得る投影光学系3の最適な構成について述べる。

【0046】図1及び表1に示した投影光学系3は、絞りSよりも物体側(マスク2側)に配置された正の屈折力を持つ前群GFと、絞りSよりも像側(基板5側)に配置された正の屈折力を持つ後群GRとを有し、その前群GFは、物体側(マスク2側)から順に、正の屈折力を持つ第1レンズ群G1と、負の屈折力を持つ第2レンズ群G2と、正の屈折力を持つ第3レンズ群G3と、負の屈折力を持つ第4レンズ群G4とを有し、後群GRは、正の屈折力を持つ第5レンズ群G5と、正の屈折力を第6レンズ群G6とを有している。

【0047】そして、この基本構成に基づいて、第1レンズ群の焦点距離を f_1 とし、前記第2レンズ群の焦点距離を f_2 、第3レンズ群の焦点距離を f_3 、第4レンズ群の焦点距離を f_4 、第5レンズ群の焦点距離を f_5 、第6レンズ群の焦点距離を f_6 、投影光学系3と収差補正光学系4との合成光学系での物像間距離(マスク2から基板5までの距離)をLとすると、以下の条件(11)～(14)を満足することが好ましい。

$$(11) \quad 0.1 < f_1 / f_3 < 17$$

$$(12) \quad 0.1 < f_2 / f_4 < 14$$

$$(13) \quad 0.01 < f_5 / L < 0.9$$

18

$$* (14) \quad 0.02 < f_6 / L < 1.6$$

【0048】以上の構成の投影光学系3によって、まず、正の屈折力を持つ第1レンズ群はテレセントリック性を維持しながら主にディストーションの補正に寄与しており、具体的には、第1レンズ群にて正のディストーションを発生させて、この第1レンズ群よりも第2物体側(基板5側)に位置する複数のレンズ群にて発生する負のディストーションをバランス良く補正している。負の屈折力を持つ第2レンズ群及び負の屈折力を持つ第4レンズ群は、主にベッツバル和の補正に寄与し、像面の平坦化を図っている。負の屈折力を持つ第2レンズ群及び正の屈折力を持つ第3レンズ群では、この2つのレンズ群において逆望遠系を形成しており、投影光学系3のバックフォーカス(投影光学系の最も基板5側のレンズ面等の光学面から基板5までの距離)の確保に寄与している。正の屈折力を持つ第5レンズ群及び同じく正の屈折力を第6レンズ群は、ディストーションの発生を抑えることと、第2物体側での高NA化に十分対応するために特に球面収差の発生を極力抑えることとに主に寄与している。

【0049】条件(11)では、正の屈折力の第1レンズ群の焦点距離 f_1 と正の屈折力の第3レンズ群の焦点距離 f_3 との最適な比率、即ち、第1レンズ群と第3レンズ群との最適な屈折力(パワー)配分を規定している。この条件(11)は、主にディストーションをバランス良く補正するためのものであり、この条件(11)の下限を越えると、第3レンズ群の屈折力が第1レンズ群の屈折力に対して相対的に弱くなるため、負のディストーションが大きく発生する。また、条件(11)の上限を越えると、第1レンズ群の屈折力が第3レンズ群の屈折力に対して相対的に弱くなるため、負のディストーションが大きく発生する。

【0050】条件(12)では、負の屈折力の第2レンズ群の焦点距離 f_2 と負の屈折力の第4レンズ群の焦点距離 f_4 との最適な比率、即ち、第2レンズ群と第4レンズ群との最適な屈折力(パワー)配分を規定している。この条件(12)は、主にベッツバル和を小さくして、広い露光フィールドを確保しながら、像面湾曲を良好に補正するためのものであり、この条件(12)の下限を越えると、第4レンズ群の屈折力が第2レンズ群の屈折力に対して相対的に弱くなるため、正のベッツバル和が大きく発生する。また、条件(12)の上限を越えると、

* 50

第2レンズ群の屈折力が第4レンズ群の屈折力に対して相対的に弱くなるため、正のベッツバール和が大きく発生する。なお、第4レンズ群の屈折力を第2レンズ群の屈折力に対して相対的に強くして、広い露光フィールドのもとでベッツバール和をよりバランス良く補正するためには、上記条件(12)の下限値を0.8として、 $0.8 < f_2 / f_4$ とすることが好ましい。

【0051】条件(13)では、正の屈折力の第5レンズ群の焦点距離 f_5 と、マスク2とウェハ等の感光性基板5までの距離(投影光学系3と収差補正光学系4との合成光学系での物像間距離) L との最適な比率を規定している。この条件(13)は、大きな開口数を保ちながら球面収差、ディストーション及びベッツバール和をバランス良く補正するためのものである。この条件(13)の下限を越えると、第5レンズ群の屈折力が大きくなり過ぎ、この第5レンズ群にて負のディストーションのみならず負の球面収差が甚大に発生する。この条件(13)の上限を越えると、第5レンズ群の屈折力が弱くなり過ぎ、これに伴って負の屈折力の第4レンズ群の屈折力も必然的に弱くなり、この結果、ベッツバール和を良好に補正することができない。

【0052】条件(14)では、正の屈折力の第6レンズ群の焦点距離 f_6 と、マスク2とウェハ等の感光性基板5までの距離(投影光学系3と収差補正光学系4との合成光学系での物像間距離) L との最適な比率を規定している。この条件(14)は、大きな開口数を保ちながら高次の球面収差及び負のディストーションの発生を抑えるためのものである。この条件(14)の下限を越えると、第6レンズ群自身にて負のディストーションが大きく発生し、この条件(14)の上限を越えると、高次の球面収差が発生する。

【0053】なお、以上の各レンズ群において、十分な収差機能を果たさせるには、具体的には、以下の構成とすることが望ましい。まず、第1レンズ群において高次のディストーション並びに瞳の球面収差の発生を抑える機能を持たせるには、この第1レンズ群は、少なくとも2枚の正レンズを有することが好ましく、第3レンズ群において球面収差及びベッツバール和の悪化を抑える機能を持たせるには、この第3レンズ群は、少なくとも3枚の正レンズを有することが好ましく、さらには、第4レンズ群においてベッツバール和を補正しつつコマ収差の発生を抑える機能を持たせるには、この第4レンズ群は、少なくとも3枚の負レンズを有することが好ましい。また、第5レンズ群において負のディストーション及び球面収差の発生を抑える機能を持たせるには、この第5レンズ群は、少なくとも5枚の正レンズを有することが好ましく、さらに第5レンズ群において、負のディストーションとベッツバール和とを補正する機能を持たせるには、この第5レンズ群は、少なくとも1枚の負レンズとを有することが好ましい。また、第6レンズ群に

において球面収差を大きく発生しないように第2物体上に集光させるには、この第6レンズ群は、少なくとも1枚の正レンズを有することが好ましい。

【0054】また、好ましくは、第2レンズ群G2は、最も物体側(マスク2側)に配置されて像側(基板5側)に凹面を向けた負の屈折力を持つ前方レンズL2Fと、最も像側(基板5側)に配置されて物体側(マスク2側)に凹面を向けた負の屈折力を持つ後方レンズL2Rと、第2レンズ群中の前方レンズL2Fと第2レンズ群中の後方レンズL2Rとの間に配置される中間レンズ群L2Mを含み、その中間レンズ群L2Mは、物体側(マスク2側)から順に、正の屈折力を持つ第1レンズL21と、負の屈折力を持つ第2レンズL22と、負の屈折力を持つ第3レンズL23と、負の屈折力を持つ第4レンズL24とを少なくとも有し、第2レンズ群中の前記第2レンズから前記第4レンズまでの合成焦点距離を f_n とするとき、以下の条件(15)を満足することが望ましい。

$$(15) \quad 0.01 < f_n / f_2 < 2.0$$

【0055】この構成の場合、第2レンズ群における最も物体側(マスク2側)に配置されて像側(基板5側)に凹面を向けた負の屈折力を持つ前方レンズL2Fは、像面湾曲、コマ収差の補正に寄与し、第2レンズ群における最も像側(基板5側)に配置されて物体側(マスク2側)に凹面を向けた負の屈折力を持つ後方レンズL2Rは、像面湾曲、コマ収差並びに非点収差の補正に寄与する。また、前方レンズL2Fと後方レンズL2Rとの間に配置された中間レンズ群L2Mにおいて、正の屈折力を持つ第1レンズL21は、像面湾曲の補正に大きく寄与している負の屈折力の第2～第4レンズ(L22～L24)にて発生する負のディストーションの補正に寄与している。

【0056】条件(15)では、第2レンズ群中の中間レンズ群L2Mにおける負の屈折力の第2レンズL22から負の屈折力の第4レンズL24までの合成焦点距離 f_n と第2レンズ群の焦点距離 f_2 との最適な比率を規定している。但し、ここで言う第2レンズ群の中間レンズ群L2Mにおける負の屈折力の第2レンズL22から負の屈折力の第4レンズL24までの合成焦点距離 f_n とは、第2レンズL22から第4レンズL24までの3枚のレンズの合成焦点距離を意味するのみならず、第2レンズと第4レンズとの間に複数のレンズが存在する場合には、第2レンズL22から第4レンズL24までの3枚以上のレンズを含めた上での合成焦点距離を意味する。

【0057】この条件(15)は、ディストーションの発生を抑えながらベッツバール和を小さく保つためのものである。この条件(15)の下限を越えると、第2レンズ群中の中間レンズ群における負の第2レンズL22から負の第4レンズL24までの少なくとも3枚の負レンズを含む負のサブレンズ群の合成屈折力が強くなり過ぎるため、負のディストーションが大きく発生する。なお、ディストーション並びにコマ収差を十分に補正するために

21

は、上記条件(15)の下限値を0.1として、 $0.1 < f_n / f_2$ とすることが好ましい。

【0058】この条件(15)の上限を越えると、第2レンズ群中の中間レンズ群L2Mにおける負の第2レンズL22から負の第4レンズL24までの少なくとも3枚の負レンズを含む負のサブレンズ群の屈折力が弱くなり過ぎるため、正のベッツバール和が大きく発生するのみならず、第3レンズ群の屈折力も弱くなり、投影光学系3のコンパクト化が困難となる。なお、ベッツバール和を良好に補正しつつより十分なるコンパクト化を図るには、

上記条件(15)の上限値を1.3として、 $f_n / f_2 < 1.3$ とすることが好ましい。なお、ベッツバール和をさらに良好に補正するためには、第2レンズ群中の中間レンズ群L2Mは、負の屈折力を有することが好ましい。

【0059】また、物体(マスク2)から投影光学系3の全体の物体側(マスク2側)焦点までの軸上距離をIとすると、以下の条件を満足することが好ましい。

$$(16) \quad 1. \quad 0 < I/L$$

条件(16)では、物体(マスク2)から投影光学系全体の物体側(マスク2側)焦点までの軸上距離と、投影光学系3と収差補正光学系4との合成光学系での物像間距離(マスク2から基板5までの距離)Lとの最適比率を規定している。ここで、投影光学系全体の第1物体側焦点とは、投影光学系3の光軸に対して近軸領域での平行光を投影光学系3の像側(基板5側)から入射させ、その近軸領域の光が投影光学系3を射出する時に、その射出光が光軸と交わる点を意味するものである。

【0060】この条件(16)の下限を越えると、投影光学系の物体側(マスク5側)でのテレセントリック性が大幅に崩れて、物体(マスク5)の光軸方向のずれに起因する倍率の変動並びにディストーションの変動が大きくなり、その結果、物体(マスク5)の像を所望の倍率のもとで忠実に基板5上に投影することが困難となる。なお、物体(マスク5)の光軸方向のずれに起因する倍率の変動並びにディストーションの変動をより十分に抑えるためには、上記条件(16)の下限値を1.7として、 $1.7 < I/L$ とすることが好ましい。さらに、投影光学系3のコンパクト化を維持しながら、瞳の球面収差及びディストーションを共にバランス良く補正するためには、上記条件(16)の上限値を6.8として、 $I/L < 6.8$ とすることが好ましい。

【0061】また、第2レンズ群中の負の屈折力を持つ第3レンズL23の焦点距離を f_{23} とし、第2レンズ群中の負の屈折力を持つ第4レンズL24の焦点距離を f_{24} とすると、以下の条件(17)を満足することがより好ましい。

$$(17) \quad 0.07 < f_{24} / f_{23} < 7$$

【0062】条件(17)の下限を越えると、負の第4レンズL24の屈折力が負の第3レンズL23の屈折力に対して相対的に強くなり、負の第4レンズL24にて、コマ収

22

差と負のディストーションが大きく発生する。負のディストーションを補正しつつ、コマ収差をより良好に補正するためには、上記条件(17)の下限値を0.14として、 $0.14 < f_{24} / f_{23}$ とすることが好ましい。この条件(17)の上限を越えると、負の第3レンズL23の屈折力が負の第4レンズL24の屈折力に対して相対的に強くなり、負の第3レンズL23にてコマ収差と負のディストーションが大きく発生する。コマ収差を補正しつつ、負のディストーションをより良好に補正するためには、上記条件(17)の上限値を3.5として、 $f_{24} / f_{23} < 3.5$ とすることが好ましい。

【0063】また、第2レンズ群中の中間レンズ群L2Mにおける負の屈折力を持つ第2レンズL22の焦点距離を f_{22} とし、第2レンズ群中の中間レンズ群L2Mにおける負の屈折力を持つ第3レンズL23の焦点距離を f_{23} とすると、以下の条件(8)を満足することがより望ましい。

$$(18) \quad 0.1 < f_{22} / f_{23} < 10$$

【0064】条件(18)の下限を越えると、負の第2レンズL22の屈折力が負の第3レンズL23の屈折力に対して相対的に強くなり、負の第2レンズL22にて、コマ収差と負のディストーションが大きく発生する。より負のディストーションをバランス良く補正するためには、上記条件(18)の下限値を0.2として、 $0.2 < f_{22} / f_{23}$ とすることが好ましい。この条件(18)の上限を越えると、負の第3レンズL23の屈折力が負の第2レンズL22の屈折力に対して相対的に強くなり、負の第3レンズL23にてコマ収差と負のディストーションが大きく発生する。コマ収差を良好に補正しながら、より負のディストーションをバランス良く補正するためには、上記条件(18)の上限値を5として、 $f_{24} / f_{23} < 5$ とすることが好ましい。

【0065】また、第2レンズ群の中間レンズ群中における負の屈折力の第4レンズL22の像側(基板5側)のレンズ面から第2レンズ群中における後方レンズL2Rの物体側(マスク2側)のレンズ面までの軸上距離をDとし、投影光学系3及び収差補正光学系4との合成光学系での物像間距離(マスク2から基板5までの距離)Lとすると、以下の条件(19)を満足することがより望ましい。

$$(19) \quad 0.05 < D/L < 0.4$$

【0066】条件(19)の下限を越えると、像側(基板5側)での十分なるバックフォーカスを確保することが困難となるのみならず、ベッツバール和を良好に補正することも困難となる。条件(19)の上限を越えると、コマ収差と負のディストーションが大きく発生する。さらには、例えば、物体としてのマスク2(又はレチクル)を保持するマスクステージと第1レンズ群との機械的な干渉を避けるために、マスク2と第1レンズ群との間の空間を十分に確保することが好ましい場合があるが、条件

(19) の上限を越えた場合には、この空間を十分に確保することが困難となるという問題もある。

【0067】以下の表(8)には、表1に示した投影光学系3の上記条件(11)～条件(19)の条件対応値を掲げる。

【表8】

$f_1 / f_3 = 1.53$
$f_2 / f_4 = 0.956$
$f_5 / L = 0.124$
$f_6 / L = 0.160$
$f_n / f_2 = 0.576$
$I / L = 2.89$
$f_{24} / f_{23} = 0.805$
$f_{22} / f_{23} = 1.01$
$D / L = 0.0850$

【0068】上述の各実施例では、投影光学系3のテレセントリックな像側の光路中に収差補正光学系としての補正光学部材4を配置した例を示したが、この補正光学部材4を投影光学系3のテレセントリックな物体側の光路中に配置しても良く、あるいは物体側もしくは像側の一方がテレセントリックに構成されている片側テレセントリックな光学系に本発明を適用することができる。また、上述の各実施例では、投影露光装置の投影光学系に対して本発明を適用した例を示したが、他の適当なテレセントリック光学系に対して本発明を適用することができる。

【0069】以上の実施例では、投影光学系3及び収差補正光学系4を全て石英(SiO_2)で構成した例を示したが、これに限ることなく、蛍石のみ、あるいは石英と蛍石との組合せで構成しても良い。さらには、投影光学系3及び収差補正光学系4を構成する光学部材は、石英、蛍石に限ることなく、露光波長の光を透過させる光

学材料を任意に組み合わせても良い。また、以上の実施例では、投影光学系3を屈折性の光学部材のみ屈折系で構成しているが、これを反射部材のみの反射系、あるいは屈折部材と反射部材との組み合わせた反射屈折系で構成しても良い。

【0070】

【効果】以上説明したように、本発明によれば、光学系の物体側または像側のテレセントリック光路中に配置された収差補正光学系の少なくとも一方の面の面パワーを変化させることによって光学系の回転対称収差を補正する。したがって、従来技術におけるように多くの種類の調整用ワッシャを用意する必要もなく、光学系の回転対称収差を迅速且つ正確に微調整することができる。本発明を投影露光装置に適用すれば、投影光学系の回転対称収差を迅速且つ正確に微調整して、転写精度を向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の各実施例にかかる収差補正光学系を備えた投影露光装置の要部構成を示す図である。

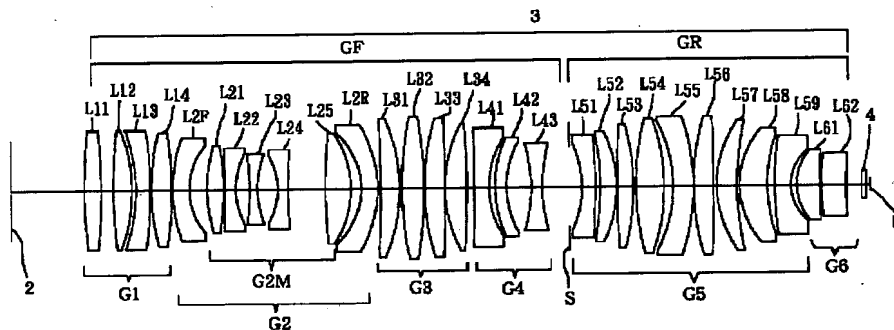
【図2】各実施例における投影光学系および収差補正光学系のレンズ構成を示す図である。

【図3】比較例における投影光学系3と収差補正光学系4とからなる合成光学系のKrFレーザー光($\lambda = 248.4 \text{ nm}$)に対する諸収差図である。

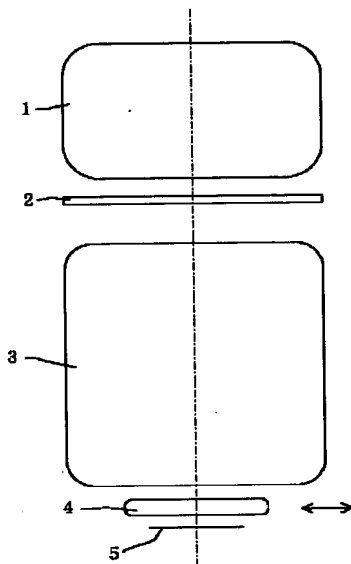
【符号の説明】

1	照明光学系
2	マスク
3	投影光学系
4	収差補正光学系
5	ウエハ
S	絞り
GR	後群(部分レンズ群)

【図2】



【図1】



【図3】

